第 20 講　恒星
PART1 天体の等級

目標　天体の見かけの等級と絶対等級との関係について説明できる。

Chapter1　天体の等級

夜空の星にはさまざまな明るさのものがあります。ここでは，その明るさの表し方や，明るさと距離との関係について学びましょう。

見かけの等級

・見かけの等級の定め方

地球から天体を観測したとき，その明るさは恒星により非常に大きく異なる。そこで，天体の明るさを表すためには次のような**見かけの等級**を用いる。

・天体が暗いほど等級の値は大きい。

・天体の明るさが 100 倍異なると，等級は 5 等級異なる。

・見かけの等級の例

	太陽	シリウス	ベガ	北極星
見かけの等級	−26.7	−1.5	0.0	2.0

→明るさと等級との関係を数学的に定めたので，等級として小数や負の値も用いることができる。

絶対等級

・天体の光度と明るさとの関係

天体が単位時間に放射するエネルギーの総量を**光度**という。

天体が放射したエネルギーは天体を中心として球状に広がっていく。球の表面積は半径の（2 乗 / 3 乗）に（比例 / 反比例）するので，天体からの電磁波に垂直な単位面積の面が単位時間に受けるエネルギーである明るさは，天体までの距離の（2 乗 / 3 乗）に（比例 / 反比例）する。

知っておこう

「明るさ」というと漠然とした表現ですが，天文分野では測定可能な量として定義されています。

天体の明るさ（brightness）は，天体からの電磁波に垂直な単位面積の面が単位時間に受ける天体からの放射エネルギーです。大きさはまさに桁違いですが，太陽定数と同じ考え方ですね。

知っておこう

夜空で最も明るく見える星を 1 等星，肉眼で見える最も暗い星を 6 等星とする等級の概念は，古代ギリシャには既に存在したとされています。

現在用いられている明るさの比と等級の差の関係を定めたのはイギリスのポグソン（Norman Robert Pogson）で，1856 年のことです。

なお，等級の基準となる 0 等級の定義は，時代とともに少しずつ変化しています。現在の等級は，ベガを 0 等級とする考え方がもとになっています。

知っておこう

光度（luminosity）は，光源である天体自体がどれだけ光り輝いているかを表しています。

・年周視差と天体の距離

年周視差は天体までの（距離 / 距離の 2 乗）に（比例 / 反比例）するので，距離の指標となる。

そこで，天体までの距離の単位として，天体の年周視差が $1''$ となる距離を 1 **パーセク**と定める。このとき，年周視差が p〔$''$〕である天体の距離を d〔パーセク〕とすると，

$$d = \frac{1}{p}$$

が成り立つ。

・絶対等級

等級を用いて天体の光度を比較するためには，天体までの距離を同じにしておく必要がある。そこで，天体を（1 パーセク / 10 パーセク）の距離から見たと仮定したときの見かけの等級を考えて，これを**絶対等級**という。

・距離指数

絶対等級が M である天体の見かけの等級を m，地球から天体までの距離を d〔パーセク〕とすると

$$m - M = 5 \log_{10} \frac{d}{10}$$

が成り立つ。このように，$m - M$ の値は天体までの距離と対応付けられるため，距離指数と呼ばれることがある。

まとめ

・天体の等級は，明るさが_______倍になるごとに 5 等級大きくなるように定められている。
・年周視差が_____となる距離を 1 パーセクという。
・絶対等級は，天体を____パーセクの距離から見たと仮定したときの見かけの等級である。
・絶対等級が同じ天体でも，距離が 10 倍になるごとに見かけの等級は_____だけ大きくなる。

知っておこう

1 パーセクは，約 3.26 光年にあたります。恒星の年周視差は最大でも $0.77''$ であり，太陽以外のすべての恒星は地球から 1 パーセクより大きな距離にあります。

なお，10 パーセクまでにある恒星は約 400 個，100 パーセクまでにある恒星は約 30 万個です。

知っておこう

距離指数の式については，演習問題で詳しく扱います。
・見かけの等級 m は $d = 10$ のとき絶対等級 M と等しい。
・そこから距離が 10 倍になるごとに明るさが 100 分の 1 になり，見かけの等級 m が 5 だけ大きくなる。
ということを意識すると，式の意味がわかりやすいでしょう。

Chapter2　演習問題

ここでは，天体の見かけの等級と絶対等級について，式の計算を行いながら確認しましょう。

問題(1)　天体の見かけの等級と明るさとの関係について述べた次の文章中の空欄［　**ア**　］～［　**ウ**　］に入る数値または式を答えましょう。

見かけの等級が 0 等級である天体の明るさを 1 とする。このとき，別の天体の見かけの等級を m 等級，明るさを l として，m と l との間にどのような関係が成り立つかを考えよう。

天体の等級が 5 等級大きくなるごとに明るさが［　**ア**　］倍になるということは，$\frac{m}{5}$ の値が 1 大きくなるごとに明るさが［　ア　］倍になるということである。つまり，$\frac{m}{5} = n$ とおくと，l は n を用いて

$$l = [\ \text{ア}\ ]^{[\ \text{イ}\ ]}$$

と表せる。したがって，l は m を用いて

$$l = [\ \text{ア}\ ]^{[\ \text{ウ}\ ]}$$

と表すことができる。

問題(2)　天体の距離と明るさとの関係について述べた次の文章中の空欄［　**エ**　］・［　**オ**　］に入る数値または式を答えましょう。

ある同じ天体を距離 d_1 の地点で観測したときの明るさを l_1，距離 d_2 の地点で観測したときの明るさを l_2 とする。明るさは距離の［　**エ**　］乗に反比例するので，

$$\frac{l_1}{l_2} = [\ \text{オ}\ ]$$

と表すことができる。

問題⑶　見かけの等級，絶対等級，距離の関係について述べた次の文章中の空欄［　**カ**　］～［　**コ**　］に入る数値または式を答えましょう。

　絶対等級は，天体を［　**カ**　］パーセクの距離から見たと仮定したときの見かけの等級である。そこで，見かけの等級が m である天体 **A** について，絶対等級を M，地球から見た明るさを l，［　カ　］パーセクの距離から見た明るさを l_{10}，地球から天体 **A** までの距離を d〔パーセク〕として，m, M, d にどのような関係式が成り立つかを考えよう。

　まず，**問題**⑴の結果により，m, M, l, l_{10} には

$$\frac{l}{l_{10}} = [\ \text{ア}\ ]^{[\ \text{キ}\ ]} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots①$$

という関係が成り立つ。

　また，**問題**⑵の結果により，d, l, l_{10} には

$$\frac{l}{l_{10}} = [\ \textbf{ク}\ ] \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots②$$

という関係が成り立つ。

　①式と②式より

$$[\ \text{ア}\ ]^{[\ \text{キ}\ ]} = [\ \text{ク}\ ]$$

となり，この両辺の常用対数を考えて計算することで

$$m - M = [\ \textbf{ケ}\ ]\ \log_{10}\frac{d}{10}$$

が得られる。この関係式は，$d = 10$ のとき $m = M$ であることや，同じ天体について d が 10 倍になるごとに m が［　ケ　］だけ大きくなることを表している。

　なお，この関係式は

$$M = m + [\ \textbf{コ}\ ] - [\ \text{ケ}\ ]\log_{10} d$$

という形で，見かけの等級と天体までの距離から絶対等級を求める式として用いられることもある。

知っておこう

左の常用対数の計算はやや複雑なので，自力で変形するのが難しい人もいるかもしれません。
　指数や対数が苦手な人は，ひとまず言葉として関係を理解しておき，計算についても少しずつ慣れれるようにするとよいでしょう。

第 20 講　PART1　確認問題

問 1　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

　天体の明るさを表す指標に見かけの等級と絶対等級がある。見かけの等級は地球から見た明るさを表し，天体が明るいほど等級の値は（　ア　），天体の明るさが 100 倍異なると，（　イ　）等級異なる。絶対等級は，その天体を a10 パーセクの距離から見たと仮定したときの見かけの等級のことである。

(1)　空欄ア，イに入る語句と数値の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：大きく　　イ：5
②　ア：大きく　　イ：6
③　ア：小さく　　イ：5
④　ア：小さく　　イ：6

(2)　太陽の見かけの等級として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　－ 27　　②　0　　③　6　　④　27

(3) 下線部 a について，天体までの距離を表す単位のパーセクの説明として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① 天体の年周視差が 1″となる距離を 1 パーセクとし，1 パーセクは約 3.26 天文単位である。

② 天体の年周視差が 1″となる距離を 1 パーセクとし，1 パーセクは約 3.26 光年である。

③ 天体の年周視差が 10″となる距離を 1 パーセクとし，1 パーセクは約 3.26 天文単位である。

④ 天体の年周視差が 10″となる距離を 1 パーセクとし，1 パーセクは約 3.26 光年である。

(4) 天体の絶対等級を M，見かけの等級を m，地球から天体までの距離を d〔パーセク〕とする。M と m の関係を表す式として適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

① $m - M = 5 \log_{10} \dfrac{d}{10}$

② $m - M = -5 \log_{10} \dfrac{d}{10}$

③ $m - M = 5 \log_{10} \dfrac{d}{100}$

④ $m - M = -5 \log \dfrac{d}{100}$

第 20 講　恒星

PART1　天体の等級

問題(1)　ア：$\dfrac{1}{100}$　イ：n　ウ：$\dfrac{m}{5}$

問題(2)　エ：2　オ：$\left(\dfrac{d_2}{d_1}\right)^2$

問題(3)　カ：10　キ：$\dfrac{m-M}{5}$　ク：$\left(\dfrac{10}{d}\right)^2$　ケ：5　コ：5

PART2　恒星のスペクトル型

問題(1)　絶対温度，反比例，ウィーンの変位則，高く，低い，大気，Hα線，水素原子，高い

問題(2)　フラウンホーファー線

問題(3)　G 型

PART3　HR 図

問題(1)　ア：σT^4　イ：$4\pi R^2$　ウ：$4\pi\sigma T^4 R^2$　エ：$4\pi\sigma T_S^4 R_S^2$　オ：4　カ：2

問題(2)　【※図参照】

問題(3)　大きい，M 型，0.01 倍，大きい

PART4　主系列星の質量と寿命

問題(1)　比例，反比例

ア：M　イ：L　ウ：M_S　エ：L_S　オ：$\dfrac{M}{M_S}$　カ：$\dfrac{L}{L_S}$

問題(2)　キ：4

問題(3)　100，10000，10，1000 万，10，3000 億

PART5　太陽質量の恒星の一生

問題(1)　ア：4　イ：2　ウ：2　エ：4　オ：3　カ：7

問題(2)　キ：-3　ク：10

PART6　さまざまな恒星の一生

問題(1)　ア：$\frac{1}{16}$　イ：10000　ウ：160000　エ：400

2

オ：$\frac{1}{100}$

地球と同程度

問題(2)　100 万分の 1，1.4，10^6

問題(3)　60000，1.4，5×10^{14}

PART7　星団

問題(1)　暗く，低い，大きく，短い，大きな，種族Ⅱ，星団 X

問題(2)　散開星団，散光星雲，球状星団，星団 Y，星団 X

PART8　連星

問題(1)　15

問題(2)　第 3 法則，2.0

ア：3.2　イ：1.4　ウ：0.6

第 20 講　PART1　確認問題　解答

問 1

(1)　③

解説：

見かけの等級は，天体が明るいほど値が小さくなり，天体の明るさが 100 倍異なると，5 等級異なる。

(2)　①

解説：

太陽の見かけの等級は，約 −27 等級である。

(3)　②

解説：

天体の年周視差が 1″となる距離を 1 パーセクとし，1 パーセクは約 3.26 光年である。

(4)　②

解説：

$m - M = -5\log_{10}\dfrac{d}{10}$ である。$d = 10$〔パーセク〕のとき $M = m$ となり，絶対等級 M が同じであれば，距離 d が 10 倍になるごとに見かけの等級 m は 5 ずつ大きく（つまり暗く）なる。